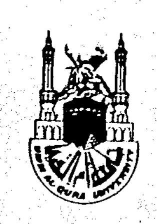


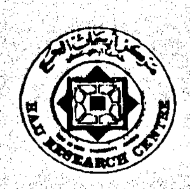
المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
مركز أبحاث الحج

خواص الهواء في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر حج ١٤١٥هـ

الباحث

عبدالحليم أحمد السواس

حج ١٤١٥هـ



ملخص الدراسة:

سجل أعلى تركيز للملوثات الهوائية في نفق الملك فهد بمكة المكرمة بينما كان أقل تركيز في نفق أجياد السد للمشاة. ولقد ارتبط تركيز الملوثات الهوائية مع زيادة عدد المركبات وازدياد الحركة المرورية في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة، كما ارتبط تراكم أول اوكسيد الكربون في أنفاق مكة المكرمة مع درجة الحرارة بحيث كان تراكم ملوثات الهواء في فترة الظهيرة بنقاط مختلفة عن فترة المساء مما يتطلب ضبط نظام التهوية بالأنفاق تبعاً لذلك بحيث يلائم الفترتين.

تم تقويم نظام تهوية في الأنفاق حيث وجد أن نظام تهوية نفق الملك فهد أقل كفاءة من بقية الأنفاق المتضمنة بالدراسة الحالية. ولقد تم تقديم توصيات لتحقيق خفض تركيز الملوثات في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة في موسم الحج.

أولاً: مقدمة

خلق الله آدم، وأسكنه وذريته الأرض التي تمتلك مقومات الحياة الأساسية؛ عناصر البيئة الرئيسية؛ في توازن محكم، متمثلة بالتربة والماء والهواء.

ترتبط هذه العناصر الثلاثة بعضها ببعض بصورة وثيقة، بحيث إن اختلال توازن عنصر فيها ينعكس على العناصر الباقية. كما أن اختلال عنصر أو اكثر من النظام البيئي، يترتب عليه ظهور مشكلات بيئية جمة تؤثر على طبيعة حياة الإنسان ورفاهيته. ويتسبب الإنسان من خلال أنشطته المختلفة سعياً للحصول على رزقه واشباع رغباته في الإخلال بهذا التوازن البيئي.

١ - تلوث الهواء:

الهواء من أهم عناصر البيئة الثلاثة، وضروري لحياة الإنسان والحيوان والنبات على السواء. وهو مزيج من غازات حيث يتكون من ٧٨٪ نيتروجين و ٢١٪

أكسجين ويحتوي أيضاً على حوالي ١٪ غازات خاملة من الأرغون والهليوم والكريبتون والنيون. أما كمية ثاني أوكسيد الكربون فتصل إلى ٠,٣٣٪ ويحتوي أيضاً على بخار الماء بنسبة ١-٤٪.

يتعرض توازن مكونات الهواء إلى خلل في نسب تواجدها الطبيعي، فيفسد الهواء، فمثلاً زيادة في أوكسيد الكربون نتيجة الاحتراق تعتبر مفسداً للهواء.

كما يتلوث الهواء بدخول مواد غريبة إلى مكوناته الطبيعية، إذ يظهر غاز ثاني أوكسيد الكبريت في الأجواء القريبة من مصانع التعدين ومصافي تكرير النفط ومحطات الطاقة. وينتشر غاز النشادر في الأماكن التي تتحلل فيها الفضلات العضوية. وينتج غاز أول أوكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للخشب ولوقود السيارات. كما تنتج أكاسيد النيتروجين عن الاحتراق بشتى أشكاله مثل احتراق وقود السيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية والجزئيات الصلبة والهيدروكربونات. فاستخدام الفحم الحجري في محطات الطاقة يؤدي إلى تصاعد أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين التي تتفاعل في الجو مع بخار الماء، وتهطل مع الأمطار والثلوج على الأرض الزراعية، وتسمى الأمطار الحامضية. ويسبب هذا النوع من التلوث خلافاً شديداً بين كندا وأمريكا، حيث يحتج سكان مقاطعة إنكلترا الجديدة الأمريكية لما يصيبهم من آثار الأمطار الحامضية المنتشرة من كندا (Smith, 1980).

ومن أهم مصادر تلوث الهواء وسائل النقل والمواصلات بأشكالها المختلفة حيث تمثل ٦٠-٩٠٪ من مجموع ملوثات الهواء. وتعتمد نوعية الملوثات التي تطلقها وسائل النقل في الهواء على نوع الوقود المستخدم، فسيارات الديزل تطلق غاز ثاني أوكسيد الكبريت بنسبة قد تصل إلى ١١,٢٪. كذلك تنطلق نسبة من ملوثات الهواء من النشاطات الطبيعية المتمثلة بالبراكين وظاهرة البرق حيث تكون أكاسيد النيتروجين.

لقد شهد العالم كوارث حقيقية بسبب التلوث الهوائي وخاصة بعد الثورة الصناعية، وأسوأ تلك الحوادث ما حدث في مدينة لندن عام ١٩٥٢م من تلوث بيئي نتيجة الضباب الدخاني. وقد ينتج بسبب زيادة تركيز ثاني أوكسيد الكبريت والحبيبات العالقة بالهواء (أبو الفتح، ١٩٨٨م، هانوغ وأبو رية، ١٩٩٠م). مما ينتج عنه زيادة محسوسة في معدلات الوفيات بسبب أمراض القلب والجهاز التنفسي. كما زادت معدلات التهاب القصبة الهوائية بنسبة تصل إلى أضعاف المعدل الطبيعي في غياب ظاهرة الضباب الدخاني.

كذلك تعرضت مدينة دونورا بولاية بنسلفانيا الأمريكية خلال شهر نوفمبر ١٩٤٨م لظاهرة الضباب الدخاني نتيجة زيادة المجمعات الصناعية بها كصناعة الصلب وحامض الكبريتيك وتعدين الزنك، وخلال أربعة أيام توفي عشرون شخصاً. كما زاد أوكسيد الكربون في وادي سنتاكلارا (Senany, 1981) الأمريكي نتيجة بناء المصانع وزيادة عدد المركبات.

وشهد العالم حديثاً أوسع تلوث بيئي متعمد في تاريخ البشرية، حريق آبار البترول بدولة الكويت. فقد تم إشعال ٩١٣ حقلاً للبترول في مناطق برقان ومقوى الأحمدي، حيث بلغت كمية البترول الخام المشتعلة ٦ ملايين برميل يومياً. وانتشر الدخان المحتوي على ملوثات الهواء إلى ارتفاعات تراوحت من ١٠٠٠ إلى ٢٢٠٠٠ الف قدم (Sheikh, 1992). وكان من أهم هذه الملوثات ثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أوكسيد الكربون وكبريت الهيدروجين والمركبات الحلقية الهيدروكربونية (Sheikh, 1992). وبلغ تركيزها في مدينة الكويت ١٠٥، ١٢٧ و ٩,١ جزءاً بالمليون لغازات ثاني أوكسيد الكبريت وأول أوكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين على التوالي (Luke et al, 1992).

انتشرت هذه الملوثات عبر الهواء إلى أنحاء العالم المختلفة القريبة والبعيدة على السواء، حيث وجدت علاقة محسوسة بين حريق آبار الكويت وزيادة تركيز الملوثات الهوائية في جزر هاواي الأمريكية أقصى الغرب (Lowenthal, 1992)، وهكذا تأثر الإنسان والحيوان والنبات في العديد من مناطق العالم بهذه الجريمة البيئية.

وبصورة عامة، يرتفع معدل أول أوكسيد الكربون في المدن الصناعية الأوربية والأمريكية بسبب حركة النقل والمرور داخل المدن، إذ كلما ازدحمت الحركة واكتظت الشوارع بالسيارات؛ مما يجعلها تسير ببطء؛ تزداد معدلات أول أوكسيد الكربون، الذي يتحد مع هيموجلوبين الدم بدلاً من الأوكسيجين ويؤدي إلى أعراض الصداع والغيثان والاختناق. وفي الحالات المزمنة، يزداد طلب الأنسجة للأوكسيجين بسبب تراكم أول أوكسيد الكربون الجزئي في هيموجلوبين الدم، مما يتسبب في زيادة ضربات القلب وارتفاع معدل الإصابة بأمراض القلب.

٢ ـ التلوث الهوائي بالمملكة العربية السعودية:

قامت بالمملكة العربية السعودية نهضة حضارية على مختلف الأصعدة متضمنة تطوراً زراعياً وصحياً وتطوير مناجم المعادن والخامات وإقامة صرح صناعي هائل في منطقتي الجبيل وينبع حيث كانتا في السابق أرضاً ريفية لا تعرف مفسدات وملوثات الهواء. و لم تقتصر النهضة الحضارية على الجبيل وينبع بل شملت معظم مدن المملكة كالرياض والدمام وجدة على وجه الخصوص، حيث بنيت مجمعات صناعية متطورة وتصاحب هذا مع زيادة في مصادر التلوث البيئي وبشكل خاص للهواء.

لقد أظهرت الدراسات البيئية أن أهم مصادر التلوث بمنطقة الرياض هي وسائل النقل ومحطات الطاقة الكهربائية ومصافي البترول ومصانع الأسمنت، حيث سجلت مستويات أعلى من الحد المسموح به من الهيدروكربونات وأول أوكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات الرصاص (Rowe et al 1988, Mutaz, 1988). فبلغ

تركيز أول أوكسيد الكربون في أحد شوارع الرياض الرئيسية عكس اتجاه سير المركبات ١٠٠ جزءاً بالمليون، بينما تراوح تركيزه في الشوارع الفرعية من ١٨–٥٦ جزء بالمليون (Koushki, etal, 1978). وفي حالات التعرض لمدة ساعة وثماني ساعات، فإن مستوى تركيز أول أوكسيد الكربون زاد عن المعدل المسموح به بالمملكة العربية السعودية. مما أدى إلى زيادة مستوى هذا الغاز داخل السيارات وتَعرُضِ الإنسان له أثناء القيادة والتنقل بالسيارات. ولقد وصلت نسبته داخل السيارات بالنسبة لتركيزه بالوسط المحيط الخارجي ٠,٨٤. واستمرت زيادة التركيز بقيمة ثابتة داخل المركبة رغم تشغيل جهاز التدفئة أو المكيف. ولقد وجد أن تأثير حجم السيارات بالداخل والعوامل البيئية المحيطة قليل على متوسط زيادة نسبة غاز أول أوكسيد الكربون داخل المركبة (Dhowalia & Koushki, 1987)، كما وجد تركيز محسوس من الجزئيات العالقة في الهواء وغاز ثاني أوكسيد الكبريت وكبريت الهيدروجين وخاصة بالقرب من المناطق الصناعية (ERT, 1977). وزاد في جدة التلوث الهوائي مع التوسع العمراني والتطور الصناعي، مما خلق مشكلة هامة، فانخفض معدل الرؤية الافقية وخاصة في ساعات الصباح الباكر. ومن أهم مصادر التلوث بجدة وسائل المواصلات ومحطة توليد الطاقة الكهربائية ومحطة تحلية مياه البحر ومصفاة تكرير البترول (Bradstreet et al 1978). وقد بلغ معدل تركيز غاز ثاني أوكسيد الكبريت خلال سنوات ١٩٨٤، ١٩٨٥، ١٩٨٦، ١٩٨٧ في جدة ٠,٠٣٥، ٠,٠٣٩، ٠,٠٣٥، ٠,٠٨٨ ميكروليتر باللتر من الهواء الجوي (Sabbak, 1993). كذلك سجلت تركيزات عالية من ثاني أوكسيد الكبريت والجزئيات العالقة في الهواء بمنطقة ينبع الصناعية وعلى بعد دائرة قطرها ١٠ كم (ERT, 1977). ولقد تأثرت النباتات المزروعة بزيادة غاز ثاني أوكسيد الكبريت في منطقة الحسا، بينما كان التركيز غير مؤثر بشكل محسوس في منطقة الهفوف (Bell, 1977).

٣ ـ تلوث الهواء بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة:

تتميز منطقة مكة المكرمة بطبيعة جغرافية مميزة، حيث الجبال الصخرية الصماء محيطة بشعابها وأوديتها من كل جانب، وتتغير درجة الحرارة في الليل والنهار بفارق بسيط، مما يجعل حركة الرياح في حدودها الدنيا. كما أن أمطارها موسمية وشحيحة ويندر فيها الثلج والبرد. وتؤثر الرياح والأمطار والثلوج والبرد إيجابياً وكوسائل فيزيائية في تخفيف وانتشار وترسيب الملوثات الهوائية ومن ثم تنقية الهواء الجوي من الملوثات والجزيئات العالقة به. لذلك فإن انخفاض التهوية وقلة الأمطار في بيئة يؤدي إلى تراكم الملوثات الهوائية، ومكة المكرمة عرضة لتراكم هذه الملوثات. وقد قامت حكومة خادم الحرمين الشريفين بتطوير مكة المكرمة والمشاعر، فشقت الأنفاق الأرضية وتحت الأرضية. كما أنشئت الطرق السريعة لاستيعاب وتسهيل الحركة المرورية من والى الأماكن المقدسة في مناطق المشاعر المقدسة.

لقد أنشئ نفق الملك فهد (السوق الصغير) كتجربة فريدة من نوعها بمكة المكرمة لكونه نفقاً تحت أرضي. وأنفاق أخرى أرضية متعددة مثل نفق أجياد السد للسيارات والمشاة ونفق الملك خالد وأنفاق الطريق الدائري الثاني وأخرى لايتسع المجال لذكرها. لقد بذل جهد هندسي تقني لتنفيذ هذه الأنفاق بكفاءة عالية ومواصفات مميزة (Vedat, 1982, Mannavalan, 1982, 1986). مما جعل انسياب الحركة إلى الحرم المكي الشريف تتم بيسر وسهولة لقاصدي البيت العتيق.

٤ ـ أهمية دراسة التلوث بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة:

تبعاً للطبيعة الجغرافية المميزة بمكة المكرمة، فمن الضروري أن تتم دراسة مقارنة للأنفاق الأرضية وتحت الأرضية لتقويم خصائصها ووسائل الامن والسلامة فيها. كما أن الكم الهائل من وسائل النقل؛ المختلفة الأنواع حجماً ونظاماً من حيث الوقود المستخدم؛ والمتجهة إلى المشاعر المقدسة (عرفات ومزدلفة ومنى)، واجتماع أعداد من

الحجيج من مختلف بقاع العالم الاسلامي في فترة زمنية محدودة تتغير فيها العوامل الجغرافية حسب الفصول المتتابعة بشكل تدريجي عاماً بعد عام أمر متميز يستحق الدراسة والتحليل لتحقيق الأمن والسلامة الصحية للمقيمين والزائرين على السواء.

ثانياً: طريقة العمل

تم استخدام تقنيتين لقياس تراكيز ملوثات الهواء:

١ - أجهزة مزودة بكاشفات الإلكتروكيميائية:

تم استخدام وحدة قياس جهاز CP 4000 المصنع بشركة Dactwell البريطانية والمجهز بأربع كاشفات للغازات وهي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد النيتروجين وثاني أوكسيد الكبريت والأوكسيجين والمعايرة بتركيزات نظامية بهدف الوصول إلى قياس دقيق لتراكيز الغازات الملوثة للهواء. وتسجل القراءات لتراكيز الملوثات الهوائية آلياً في صورة قيم حسابية كجزء بالمليون لغازات أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين ونسبة مئوية في حالة الأوكسيجين.

٢ - الطرق اللونية:

تم استخدام تقنية شركة لاموت الأمريكية لتعيين تركيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد في الهواء الجوي، بحيث يتم إمرار حجم مقداره ١ ليتر من الهواء بالدقيقة خلال محلول امتصاص كيميائي خاص بكل ملوث هوائي ولمدة زمنية قدرها ٢٠ دقيقة، و١٠ دقائق و٣٠ دقيقة على التوالي. بعدها يتم تعيين تراكيز الملوثات باستخدام كواشف لونية خاصة بكل غاز وباستخدام تراكيز لونية نظامية للمقارنة في وحدة القياس اللونية لكل ملوث (انظر شكل)، وتضبط النتائج كي تصبح قيم بصورة جزء بالمليون.

٣ ـ خطة البحث:

أ ـ أماكن القياس:

١ ـ نفق الملك فهد:

تم تحديد عشر نقاط لقياس الغازات بتقنية الكاشفات الالإلكتروكيميائية داخل وخارج النفق في كلا الاتجاهين، بحيث يتم مقارنة تراكم الغازات داخل النفق بالنسبة للمحيط الخارجي له. وقد تم اختيار أربعة نقاط داخل نفق الملك فهد وهي على التوالي: المدخل وباب الملك عبدالعزيز وباب الملك فهد والمخرج بحيث تم قياس تراكيز الغازات ذهاباً وإياباً في اتجاه سير المركبات في كلا الاتجاهين.

أما خارج نفق الملك فهد، فقد تم اختيار نقطة قصر الصفا، ونقطة الحفاير لتعيين خواص الهواء في البيئة خارج النفق. كذلك تم تعيين تراكيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد في وسط نفق الملك فهد (باب الملك عبدالعزيز) وفي نقطة طلعة الحفاير.

٢ ـ نفق أجياد السد للسيارات (محبس الجن):

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد السد للسيارات في نقاط داخل وخارج النفق، وذلك باختيار نقطتين خارج النفق وهي ساحة المدخل وساحة المخرج في اتجاه سير المركبات من الحرم إلى محبس الجن. أما داخل النفق، فقد تم اختيار مدخل النفق ووسطه ومخرجه لتعيين تراكيز الغازات بجهاز CP 4000.

كما تم تعيين تراكيز الرصاص والأمونيا والفورمالدهيد في نقطة وسط النفق وفي ساحة محبس الجن باستخدام الطريقة اللونية لجهاز لاموت.

٣ ـ نفق أجياد السد للمشاة:

تم قياس تراكيز الغازات في نفق أجياد السد للمشاة باختيار خمس نقاط، ثلاثة منها داخل النفق وهي: مدخل ووسط ومخرج، النفق، ونقطتين خارج النفق وهما ساحة محبس الجن وساحة مسجد البيعة.

٤ ـ نفق الملك خالد للسيارات بالعزيزية:

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في نفق الملك خالد باستخدام تقنية الكاشفات الالإلكتروكيميائية CP 4000 في خمس نقاط منها نقطتان خارج النفق، هما ساحة باب قصر منى عند المدخل ونقطة منى خارج نفق الملك خالد. أما النقاط الثلاث فكانت عند المدخل ووسط ومخرج النفق على التوالي.

٥ ـ قياس تراكيز الملوثات الهوائية في عرفات ومزدلفة:

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في يوم عرفات في فترات زمنية مختلفة من يوم عرفات كما هو موضح بالجدول رقم ( ) باستخدام تقنية الكاشفات الإلكتروكيميائية CP 4000. ولقد تم قياس تراكيز الغازات في مزدلفة في فترات زمنية متعددة مساء يوم التاسع من ذي الحجة ١٤١٧هـ. الجدول رقم ( )

٦ ـ قياس تراكيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس الملوثات الهوائية في نقطتين من منى أيام التشريق وهما جسر الملك عبدالعزيز ووادي الجمرات في فترات زمنية مختلفة حسب الجدول رقم ( ).

ب ـ طريقة القياس:

تم تسجيل عشر قراءات في كل موقع باستخدام جهاز كاشفات الإلكتروكيميائية Cp 4000 ومن ثم تم حساب المتوسط لهذه القراءات وحساب معدل

الخطأ الاحصائي. كما تم تسجيل قياس واحد في كل فترة زمنية لتراكيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد باستخدام التقنية اللونية لشركة لاموت.

كذلك تم تسجيل القياسات في فترات زمنية مختلفة ظهراً ومساءً (الساعة ١٢ ظهراً والعاشرة مساءً على التوالي) لدراسة تأثير العوامل البيئية في تخفيف الملوثات البيئية ومنع تراكمها.

ثالثاً: النتائج

١ ـ تركيز ملوثات الهواء في نفق الملك فهد:

أ ـ تركيز ملوثات الهواء في فترة الظهيرة:

بلغ أعلى مستوى لغاز أول أوكسيد الكربون في موقع باب الملك فهد حيث بلغ ٦٠,٤٤ جزءاً بالمليون في اتجاه الذهاب و ٦٩,٥٦ في اتجاه الإياب. كما بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز ٥٥,٤١ و ٥٤,١٦ في الذهاب والإياب على التوالي.

أما تركيز أول أوكسيد الكربون عند مدخل النفق، فكان أقل من المخرج حيث بلغ ٣٣,٦٩ و ٣٩,١ على التوالي. كما وجد تركيز أول أوكسيد الكربون في مخرج النفق بمرحلة الإياب أعلى من داخل النفق، مما قد يشير إلى أن اتجاه الرياح من قصر الصفا يعوق خروج الملوثات من جهتها ومما يعزز هذا أن تراكيز الملوثات في طلعة الحفاير أعلى من نقطة قصر الصفا ويفسر هذا بخروج الملوثات من داخل النفق باتجاه طلعة الحفاير ظهراً.

وكانت الصورة مماثلة مع غاز ثاني أوكسيد الكبريت، حيث بلغ أعلى تركيز له عند باب الملك فهد ١,٠٧ و ٠٦٧ جزءاً بالمليون في مرحلتي الذهاب والإياب على التوالي، بينما بلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز ٠,٥٦ و ٠,٥١ في مرحلتي

الذهاب والإياب على التوالي أما تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين، فكان تركيزه غير محسوس في جميع أيام القياس لشهر ذي الحجة. كما كانت نسبة غاز الأوكسيجين في المعدل الطبيعي في جميع نقاط القياس، حيث بلغت ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١)

جدول رقم - ١

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد لفترة الظهيرة من ١٢/٢ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO_2	SO_2	NO_2	O_2
مدخل النفق	٣٣,٦٩ ± ١٢,٦٨	٠,٨٩ ± ٠,٧٢	٠,٠٢١ ± ٠,٠٢	٢١ ± ٠,٠١
باب الملك عبدالعزيز	٥٥,٤١ ± ٨,٧٩	٠,٥٦ ± ٠,١٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
باب الملك فهد	٦٠,٤٤ ± ١٠,٥٧	٠,٦٧ ± ٠,٢٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٣٩,١ ± ٣,٩٢	٠,٥٣ ± ٠,١٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
طلعة الحفاير	٣٣,٦ ± ١٥,١١	٠,٤ ± ٠,١٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
مدخل العودة	٢٣,١٨ ± ٤,٢٥	٠,٤٥ ± ٠,١٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
باب الملك فهد (العودة)	٦٩,٥٦ ± ٦,٧٢	١,٠٧ ± ٠,٢٥	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
باب الملك عبدالعزيز (العودة)	٥٤,١٦ ± ٧,٣٧	٠,٩ ± ٠,٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
مخرج العودة	٥٩,٣٣ ± ٨,٠٥	١,٠٥ ± ٠,٢٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
قصر الصفا	٢٠,٢ ± ٤,٣٦	٠,٦ ± ٠,٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

وقد بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون قيمة عظمى يوم ١٤١٥/١٢/١٣هـ، حيث بلغ معدل تركيزه ١٧,٦٨. ولم تظهر النتائج زيادة متصاعدة مع أيام الحج، فكانت متغيرة من يوم لآخر.

وعموماً، كانت زيادة محسوسة في أيام ٤ و ٥ و ٨ من شهر ذي الحجة وأعلى من بقية أيام ذي الحجة باستثناء يوم نفرة التعجل ١٤١٥/١٢/١٣هـ.

أما غاز ثاني أوكسيد الكبريت، فقد بلغ أعلى مستوى له يوم ١٤١٥/١٢/٤هـ، حيث بلغ ٢,٢١ جزءاً بالمليون. كما بلغ ١,٣٢ و ١,٢٥ يومي ١٤١٥/١٢/٢هـ

و١٤١٥/١٢/٥هـ، على التوالي وتــراوح في بقيـة الأيـام بـين ٠,٢١ إلى ٠,٦٩ جـزءاً بالمليون.

وكان تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع أيام القيــاس مـن شهر ذي الحجة بينما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعة ثابتة وهي ٢١٪.

كذلك تم قياس الأمونيا والرصاص في وسط نفـق الملـك فهـد خـلال الفـترة مـن ١٤١٥/١٢/٦هـ، إلى ١٤١٥/١٢/١١هـ حيث تراوح كـلاهما بنسبة وسطــية مـن ٨ ـ ١٠ و ١,٢٥ جزءاً بالمليون على التوالي. (انظر الجدول رقم ـ ٢)

جدول رقم ـ ٢

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد للعشرة مواقع في فترة الظهيرة

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١١/١٦هـ	٣٣,٩ ± ١٠,٧١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١هـ	٢٢,٣٨ ± ٤,٨٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٢هـ	٣٩,٤١ ± ٨,٥٨	١,٣٢ ± ٠,١٥	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٣هـ	٢٨,٧٢ ± ٥,١٩	٠,٧١ ± ٠,١١	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٤هـ	٥١,٢٨ ± ١٣,٣٤	٢٠,٢١ ± ٠,٥٩	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٥هـ	٦٨,٤٢ ± ١٥,٤٢	١,٢٥ ± ٠,١٧	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٦هـ	٣١,٥٨ ± ٤,٥١	٠,١٨ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٨هـ	٥٦,٠٦ ± ٧,٥٦	٠,١٨ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	٤٣,٥٢ ± ٦,١٣	٠,٦٩ ± ٠,١٣	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣هـ	٧١,٦٨ ± ١٠,٦٥	٠,٢١ ± ٠,١١	٠,٠٢١ ± ٠,٠٢١	٢١ ± ٠,٠

ب - تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أوكسيد الكربون في مرحلة الذهاب (من قصر الصفا إلى طلعة الحفاير) عند باب الملك فهد ٧١,٧ جزءاً بالمليون.

أما عند باب الملك عبد العزيز، فلقد بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون ٦١,٦ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أوكسيد الكربون في مدخل النفق ومخرجه متساوياً تقريباً، مما يشير إلى تراكم في تركيز أول أوكسيد الكربون، حيث بلغ ٥٨,٤ و ٥٨,٧ جزءاً بالمليون على التوالي. أما في طلعة الحفاير، فقد بلغ ١٧,٣ جزءاً بالمليون وقد يفسر بأن اتجاه الرياح كان أقوى من شفط مراوح تهوية النفق. كذلك في مرحلة الإياب، زاد تركيز أول أوكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز عن تركيز أول أوكسيد الكربون عند باب الملك فهد حيث بلغ ٨٥,٣ و ٨١,٦ جزءاً بالمليون على التوالي. كما كان تركيز أول أوكسيد الكربون عالياً عند المخرج بالمقارنة مع المدخل بما يزيد على أربعة أضعاف حيث بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون ٢١، ٨٥,٥ جزءاً بالمليون على التوالي. مما يشير إلى أن شدة تيار الهواء من اتجاه طلعة الحفاير باتجاه قصر الصفا، إلا أن تصريف أول أوكسيد الكربون، لم يتم بكفاءة في اتجاه قصر الصفا، فلقد تراكم عند المخروج وبلغ تركيزه ٨٥,٥ جزءاً بالمليون بينما كان التركيز أقل في ساحة قصر الصفا خارج النفق حيث بلغ ٢١,٩.

كذلك كانت نتائج قياس تركيز ثاني أوكسيد الكبريت مشابهة لنتائج أول أوكسيد الكربون من حيث تراكم تركيزه في وسط النفق حيث بلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز ٠,٥٨ و ١,٠٥ جزءاً بالمليون في مرحلة الذهاب والإياب على التوالي وعند باب الملك فهد ٠,٨٤ و ١,٠٩ في مرحلة الذهاب والإياب على التوالي.

كما كان تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين أعلى عند مدخل النفق من اتجاه قصر الصفا عن طلعة الحفاير حيث بلغ ٠,٢٧ و ٠,١٩ على التوالي.

وزاد تركيز ثاني أوكسيد النيتروجين عند باب الملك فهد في مرحلة الإياب عن تركيزه في مرحلة الذهاب حيث بلغ ٠,٢٧ و ٠,٢ جزءاً بالمليون على التوالي، بينما نقص تركيزه بمرحلة الإياب عن الذهاب عند باب الملك عبد العزيز فبلغ ٠,١٣ و ٠,٢١ جزءاً بالمليون على التوالي وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعيه ثابتة في جميع أماكن القياس بنفق الملك فهد وهي ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ٣)

جدول رقم - ٣

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد لفترة المساء من ١٢/٢ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO_2	SO_2	NO_2	O_2
مدخل النفق	٥٨,٤ ± ٢٠,٨	٠,٠٥ ± ٠,٠٥	٠,٢٧ ± ٠,١٧	٢١ ± ٠,٠
باب الملك عبدالعزيز	٦١,٦ ± ١٢,٠٠	٠,٥٨ ± ٠٠,١٦	٠,٢١ ± ٠,١٥	٢١ ± ٠,٠
باب الملك فهد	٧١,٧ ± ٤,٩	٠,٨٤ ± ٠,١٢	٠,٢٠ ± ٠,١	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٥٨,٧ ± ١٢,٨	٠,٧٧ ± ٠,١٦	٠,٠٨ ± ٠,٠٥	٢١ ± ٠,٠
طلعة الحفاير	١٧,٣ ± ٤,٤	٠,١٣ ± ٠,٠٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
مدخل العودة	٢١,٠ ± ٥,٥	٠,٣ ± ٠,١٥	٠,٠٥ ± ٠,٠٥	٢١ ± ٠,٠
باب الملك فهد (العودة)	٨١,٦ ± ١٢,٢	١,٠٩ ± ٠,١٥	٠,٢٧ ± ٠,١٢	٢١ ± ٠,٠
باب الملك عبدالعزيز (العودة)	٨٥,٣ ± ١٩,٨	١,٠٥ ± ٠,١٤	٠,١٣ ± ٠,١	٢١ ± ٠,٠
مخرج العودة	٨٥,٥ ± ١١,٥	١,١٧ ± ٠,١٥	٠,١٩ ± ٠,١٢	٢١ ± ٠,٠
قصر الصفا	٢١,٩ ± ٦,٠	٠,٢٤ ± ٠,١٢	٠,٠١ ± ٠,٠١	٢١ ± ٠,٠

ولم تسجل علاقة بين تركيز الملوثات وأيام ذي الحجة، حيث كانت كميتها متفاوته في أول أيام المشاعر، فكانت نسبة أول أوكسيد الكربون عالية يوم ١٤١٥/١٢/٣هـ، ثم انخفضت يوم ١٤١٥/١٢/٤هـ و ١٤١٥/١٢/٥هـ، على التوالي، حيث بلغت ٧٢,٧٩ و ٤٥,٣ و ٢٢,٨٢ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم ارتفعت يوم ١٢,١٠ إلى ١٤١٥/١٢/١٣هـ، بصورة تدريجية، حيث بلغت ٥٩,٦٤ و ٦٤,٠٣ و ٧٣,٢ جزءاً بالمليون على التوالي.

كذلك توافق غاز ثاني أوكسيد الكبريت في نقصانه وزيادته مع أول أوكسيد الكربون. أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين، فكان متغيراً، فلقد تناقص يوم ١٢/٣ و١٢/٤ و ١٤١٥/١٢/٥هـ، حيث بلغ ٠,٤٦ و ٠,١١ جزءاً بالمليون وصفراً على التوالي، ثم زاد يوم ١٤١٥/١٢/١٠هـ، إلى يوم ١٤١٥/١٢/١٣هـ، حيث تراوح تركيزه بين ٠,٨٤ إلى ٠,١٩ جزءاً بالمليون.

كما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعة ثابتة وهي ٢١٪ طوال أيام القياس من ١٤١٥/١٢/٣هـ، إلى ١٤١٥/١٢/١٣هـ. (انظر الجدول رقم ـ ٤)

جدول رقم ـ ٤

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد للعشرة مواقع في الفترة المسائية

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١٢/٣هـ	٧٢,٧٩ ± ١٥,١	١,٠٣ ± ٠,١٦	٠,٤٦ ± ٠.١١	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/٤هـ	٤٥,٣ ± ١٢,٧٦	٠,٨ ± ٠,٢٥	٠,١١ ± ٠.٠٧	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/٥هـ	٢٢,٨٢ ± ٤,٥٦	٠,٦٠ ± ٠,١٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٠هـ	٥٩,٦٤ ± ١٠,٩	٠,٤٥ ± ٠,١٣	٠,٠٨٤ ± ٠,٠٥	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	٦٤,٠٣ ± ١١,٦٨	٠,٤٨ ± ٠,١٣	٠,٠٠٧ ± ٠,٠٠٧	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣هـ	٧٣,٢ ± ١٠,١	٠,٥٦ ± ٠,١٦	٠,١٩ ± ٠,٠٧	٢١ ± ٠,٠

٢ـ قياس تركيز الملوثات الهوائية بنفق أجياد السد للسيارات:

أ ـ تركيز الملوثات في فترة الظهيرة:

بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون في نفق أجياد السد للسيارات أعلى قيمة له عند المخرج باتجاه منى حيث بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون عند المدخل ووسط ومخرج النفق ١٤ ، ١٨,٧ و ٢٣,١٤ جزءاً بالمليون على التوالي.

وكان تركيز أول أوكسيد الكربون في ساحة خارج النفق باتجاه منى أعلى من ساحة قبل المدخل (اتجاه الحرم). مما يدل على أن مراوح الشفط تعمل بكفاءة جيدة في اتجاه سير مركبات النقل حيث بلغ التركيز في ساحة المدخل وساحه المخرج ١٣,٦ و٢٠,٤ جزءاً بالمليون على التوالي. وكانت القياسات متدرجة في الزيادة باتجاه سير المركبات، مما يشير إلى عدم تراكم الملوثات الهوائية داخل النفق.

ولقد حدث تراكم بسيط عند مخرج النفق قد يعود سببه إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء في خارج النفق وقت الظهيرة، مما جعل تيارات الهواء تعاكس مراوح شفط وطرد الهواء من داخل النفق بكفاءة كاملة.

كما كان تركيز ثاني أوكسيد الكبريت متساوي القيمة في نقاط القياس وبزيادة في ساحة المخرج، مما يشير إلى كفاءة مرواح الشفط في طرد غاز ثاني أوكسيد الكبريت إلى خارج النفق باتجاه سير المركبات، بحيث حافظ التركيز على نسبة متوازنة ولم يحدث تراكم للغاز في وسط النفق.

أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين فلم تسجل تراكيز محسوسه منه داخل نفق أجياد السد في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق على السواء. وحافظ تركيز الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة في هواء النفق وقدرها ٢١٪. (انظر الجدول رقم ـ ٥)

جدول رقم ـ ٥

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للسيارات في فترة الظهيرة

من ١٤١٥/١٢/٢هـ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO			SO_2			NO_2			O_2		
ساحة المدخل (قصر الصفا)	١٣,٦	±	٣,٢	٠,٦٣	±	٠,١٩	٠,٠	±	٠,٠	٢١	±	٠,٠
المدخل	١٤,٠١	±	٢,٥٤	٠,٦٢	±	٠,٢٠	٠,٠	±	٠,٠	٢١	±	٠,٠
الوسط	١٨,٧	±	٣,٠١	٠,٦٢	±	٠,٢٣	٠,٠	±	٠,٠	٢١	±	٠,٠
المخرج	٢٣,١٤	±	٢,٤١	٠,٥٩	±	٠,٢٣	٠,٠	±	٠,٠	٢١	±	٠,٠
ساحة المخرج (محبس الجن)	٢٠,٤	±	٥,٣١	٠,٧٤	±	٠,٢٢	٠,٠	±	٠,٠	٢١	±	٠,٠

لقد كانت نسبة تركيز الملوثات متغيره في النصف الأول من شهر ذي الحجة حيث بلغت اعلى قيمه لها يوم ١٤١٥/١١/١٩هـ و ١٤١٥/١٢/١٣هـ، من تركيز أول أوكسيد الكربون ٢٠,٥٨ و ٢٧,٣٦ جزءاً بالمليون على التوالي. وتناقص يوم ١٢/١/ ثم زاد يوم ١٢/٢ وتناقص ثانيه يوم ١٢/٣/ و ١٢/٤ حيث بلغ ١٤,٤٨ و ١٦,٩٦ و ١١ و ١٢,٨٨ على التوالي. وزاد يوم ١٢/٨ ثم تناقص يوم ١٢/١١ حيث بلغ ٢١,٧٦ و ١٦,٨ على التوالي.

أما غاز ثاني أوكسيد الكبريت فلقد كان اعلى تركيز يوم ١٢/٣ و ١٢/١ حيث بلغ ١,٣ و ١,٢٧ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم تناقص في يوم ١٢/٤ إلى ١,١٥ جزءاً بالمليون وبصوره مغايره لأول أوكسيد الكربون فلقد كان تركيزه منخفضاً يوم ١٢/١٣ كما كان تركيزه غير محسوس يوم ١٢/١١ وقل تركيزه يوم ١٢/٨ عن معدل تركيزه في الأيام الأولى من شهر ذي الحجة حيث بلغ ٠٣٤، جزءاً بالمليون، ولكنه كان أعلى من الأيام التالية من شهر ذي الحجة. وكذلك يوم ١١/١٩ أيضاً لم تسجل تراكيز محسوسة لغاز ثاني أوكسيد النيتروجين لجميع أيام شهر ذي الحجة ويوم ١١/١٩. أما غاز الأوكسيجين فقد حافظ على نسبة طبيعية وقدرها ٢١٪ طوال أيام القياس. (انظر الجدول رقم ـ ٦)

جدول رقم ـ ٦

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للسيارات للخمسة مواقع في فترة الظهيرة

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١١/١٩هـ	٢٠,٥٨ ± ٥,١٥	٠,٠٤٤ ± ٠,٠٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١هـ	١٤,٤٨ ± ٣,٣٧	١,٢٧ ± ٠,٠٩	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٢هـ	١٦,٩٦ ± ٦,٢٤	١,١١ ± ٠,١١	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٣هـ	١١,٠ ± ٣,٩١	١,٣٠ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٤هـ	١٢,٨٨ ± ٤,٥٨	١,١٥ ± ٠,٠٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٨هـ	٢١,٧٦ ± ٣,٦	٠,٣٤ ± ٠,١٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	١٦,٨ ± ٢,٥٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣هـ	٢٧,٣٦ ± ٣,٣١	٠,٠١٤ ± ٠,٠١٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

ب - تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد والسد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أوكسيد الكربون عند مخرج نفق أجياد السد، حيث بلغ ٢٧,٤٨ جزءاً بالمليون وزاد التركيز في وسط النفق عن تركيز المدخل، حيث بلغ ١٧,٨ و ٧,١٦ جزءاً بالمليون على التوالي.

وتشير القياسات إلى أن تركيز أول أوكسيد الكربون في ساحه مدخل النفق (اتجاه الحرم) كان يزيد ضعفين على مدخل النفق، حيث بلغ ١٥,٢ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أوكسيد الكربون مقارباً في ساحه مخرج النفق في اتجاه منى. مما يشير إلى كفاءة شفط مراوح النفق، إلا أن اتجاه الرياح من اتجاه منى؛ حيث الهواء درجة حرارته أقل من داخل النفق قد يكون جعل تيار الهواء يعاكس كفاءة مراوح الشفط، ومنع بذلك خروج جزء من أول أوكسيد الكربون، مما سبب تراكماً في مخرج ووسط النفق.

كذلك حافظ ثاني أوكسيد الكبريت على نسبة متقاربة في نقاط القياس، حيث تراوحت كمية تركيزه من ٢٧٪ إلى ٠,٣٥ من المدخل إلى المخرج بصورة متزايدة وبشكل تدريجي. وكانت هذه الكمية متقاربة مع تركيزه ٠,٣٢ و ٠,٣ جزءاً بالمليون على التوالي.

وسُجل أعلى تركيز لغاز ثاني أوكسيد النيتروجين داخل النفق في وسطه، حيث بلغ ٠,١٤ جزءاً بالمليون ولم يسجل تركيز محسوس له في ساحة المدخل أو المخرج على السواء. كما كان تركيز الأوكسيجين بنسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغ ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ٧)

جدول رقم ـ ٧

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للسيارات في الفترة المسائية

من ١٤١٥/١٢/٢هـ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
ساحة المدخل (قصر الصفا)	١٥,٢ ± ٥,٣	٠,٣٢ ± ٠,١٧	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٧,١٦ ± ١,٩٩	٠,٢٧ ± ٠,١٧	٠,٠٣ ± ٠,٠٣	٢١ ± ٠,٠
الوسط	١٧,٨ ± ٢,٠٣	٠,٣٠ ± ٠,١٨	٠,١٤ ± ٠,١٤	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٢٧,٤٨ ± ٣,٠٥	٠,٣٥ ± ٠,٢١	٠,٠١٤ ± ٠,٠١٤	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (محبس الجن)	١٦,٩٦ ± ١,١٥	٠,٣٠ ± ٠,١٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

لقد كان تركيز أول أوكسيد الكربون في أعلى قيمه لـه يوم ١٢/١٣ و ١٢/٤، حيث بلغ ٢٢,٦٤ و ٢٠,٤٤ جزءاً بالمليون على التوالي. وقل تركيزه يومي ١٢/٣ و١٢/١٠، حيث بلغ ١٣,٦٤ و ١٢ جزءاً بالمليون. ثم زاد إلى ١٥,٨٨ جزءاً بالمليون يوم ١٢/١١. أما غاز ثاني أوكسيد الكبريت فقد سُجل أعلى تركيز له يوم ١٢/٤ وأقل تركيز له يوم ١٢/٣. وانخفض يوم ١٢/١٣، حيث بلغ تركيزه ٠,٨١ و ٠,٦٩ و٠,٠٤ جزءاً بالمليون على التوالي.

ولم يسُجل تركيز محسوس له يومي ١٠/ و ١٢/١١. كما كان تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين ٠,١٩ جزءاً بالمليون يوم ١٢/٣. ولم تُسجل أية تركيزات محسوسة أيام شهر ذي الحجة.

كذلك حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة مساءً خلال جميع أيام القياس من شهر ذي الحجة حيث بلغ ٢١٪.

جدول رقم ـ ٨

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للسيارات للخمسة مواقع في الفترة المسائية

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١٢/٣هـ	١٣,٦٤ ± ٥,١	٠,٦٩ ± ٠,٠٤	٠,١٩ ± ٠.١٣	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/٤هـ	٢٠,٤٤ ± ٤,٢٥	٠,٨١ ± ٠,٠٥	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/١٠هـ	١٢,٠ ± ٢,٧٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	١٥,٨٨ ± ٣,٥٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠.٠
١٤١٥/١٢/١٣هـ	٢٢,٦٤ ± ٣,٨٦	٠,٠٤ ± ٠,٠٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠.٠

قياس تراكيز الملوثات الهوائية بنفق أجياد السد (مشاة):

أ ـ فترة الظهيرة:

وجد أن تركيز أول أوكسيد الكربون في داخل وساحة دخول نفق أجياد المشاة من اتجاه منى غير محسوس، بينما كان تركيز أول أوكسيد الكربون في ساحة مخرج النفق من اتجاه قصر الصفا ١,٧ جزءاً بالمليون. أما تركيز غازي ثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين فكان غير محسوس. كما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق وهي ٢١٪. (انظر الجدول رقم ـ ٩)

جدول رقم - ٩

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للمشاة في فترة الظهيرة

من ١٤١٥/١٢/٢هـ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
ساحة المدخل (قصر الصفا)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (محبس الجن)	١,٧ ± ١,٤١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

ب - فترة المساء:

وجد أن تركيز أول أوكسيد الكربون أعلى في ساحة مخرج النفق باتجاه قصر الصفا عن داخل النفق في الوسط والمخرج، حيث بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون ٦، ٠,٨ و ٠,٦ جزءاً بالمليون على التوالي.

بالمقابل كان تركيز غاز أول أوكسيد الكربون في ساحة المدخل (اتجاه منى) والمدخل غير محسوس. كذلك كان تركيز ثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس داخل النقل وفي ساحتي نفق أجياد للمشاة. أما غاز الأوكسيجين فلقد حافظ على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١٠)

جدول رقم ـ ١٠

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للمشاة في الفترة المسائية

من ١٤١٥/١٢/٢هـ الى ١٤١٥/١٢/١٣هـ

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
ساحة المدخل (قصر الصفا)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	٠,٨ ± ٢,٥	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٠,٦ ± ١,٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (محبس الجن)	٦,٠ ± ١٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

٤ ـ قياس تركيز الملوثات في نفق الملك خالد بالعزيزية:

أ ـ فترة الظهيرة:

وجد أن تركيز غازات أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس في نفق الملك خالد بالعزيزية، بينما كانت نسبة الأوكسيجين طبيعية ثابتة حيث بلغت ٢١٪. (انظر الجدول رقم ـ ١١)

جدول رقم ـ ١١

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك خالد بالعزيزية لفترة الظهيرة

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
ساحة المدخل (قصر منى)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المخرج	١,٤ ± ٢,٩٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (منى)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

ب ـ فترة المساء:

وجد أن تركيز أول أوكسيد الكربون خارج النفق وفي ساحة المخرج (اتجاه منى) وساحة المدخل حيث بلغ ١٣,٦، ١٠ و٦,٦ جزءاً بالمليون على التوالي وهو أعلى من تركيز أول أوكسيد الكربون في المدخل والوسط الذي وجد قيمة غير محسوسة. (انظر الجدول رقم ـ ١٢)

جدول رقم ـ ١٢

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك خالد بالعزيزية في الفترة المسائية

الموقع	CO	SO_2	NO_2	O_2
ساحة المدخل (قصر منى)	٦,٦ ± ١٠,٣٧	٠,٤٢ ± ٠,٣٦	٠,٢١ ± ٠,٣٤	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٧ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,١٤ ± ٠,٣	٠,٥٩ ± ٠,٣٣	٢١ ± ٠,٠
المخرج	١٠,٠ ± ٠,٩٤	٠,٤٢ ± ٠,٣٦	٠,٢٨ ± ٠,٣٦	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (منى)	١٣,٦ ± ٦,٥٢	٠,٤٩ ± ٠,٣٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

٥ ـ قياس تركيز ملوثات الهواء يوم وقفة عرفة (١٤١٥/١٢/٩):

وجد أن تركيز أول أوكسيد الكربون غير محسوس من زوال الشمس إلى الساعة ٥,١٧ دقيقة بعد الظهيرة، لكن قرب وقت نفرة الحجيج ومع بدء تشغيل محركات وسائل المواصلات استعداداً للإفاضة من عرفات، زاد تركيز أول أوكسيد الكربون حيث بلغ الساعة السادسة والربع ٩,١٤ جزءاً بالمليون. ثم زاد بصورة محسوسة في الساعة السابعة فبلغ ٦٩,٨ جزءاً بالمليون وأستمر بصورته هذه إلى بدء الإفاضة الساعة ٧,١٥ مساءً وأظهر غاز ثاني أوكسيد الكبريت نتائج مماثلة، حيث بلغ تركيزه الساعة ٦,١٥ قيمة قدرها ١,٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض إلى ٠,٤١ جزءاً بالمليون، وعاد للزيادة الساعة السابعة مساءً فبلغ ٠,٩٥ جزءاً بالمليون، وأستمر بقيمة تقريبيه لساعة الإفاضة حيث بلغ ١,٠٢ جزءاً بالمليون.

أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين، فقد كان غير محسوس طوال فترة المشاعر بعرفات من ناحية أخرى، كانت نسبة الأوكسيجين طبيعية ثابتة طوال فترة المشاعر في عرفات، حيث حافظ على نسبة ثابتة وقدرها ٢١٪ وبزيادة طفيفة في ساعات المساء (٦,١٥ و ٦,٣٠ و ٧,١٥)، حيث تراوحت نسبته مع بدء النفرة (٢١,٥٪ ـ ٢١,٦٣٪). (انظر الجدول رقم ـ ١٣)

جدول رقم ـ ١٣

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في يوم عرفات ١٤١٥/١٢/٩هـ

الزمن	CO	SO_2	NO_2	O_2
٥,١٧	٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠
٦,١٥	٠,٣٤ ± ٢١,٥	٠,٣٤ ± ٠,٥	٠,٧٩ ± ١,٤	١,٠٧ ± ٩.١٤
٦,٣٠	٠,٢٥ ± ٢١,٦١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٤٧ ± ٠,٤١	٣,٤٨ ± ٧.٩
٧,٠٠	٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٢٥ ± ٠,٠٨	٠,٢٤ ± ٠,٤٥	١٥,١ ± ٦٩.٨
٧,١٥	٠,٢٢ ± ٢١,٦٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٤ ± ١,٠٢	١٧,١٥ ± ٦٧.٦

٦ ـ تراكيز ملوثات الهواء في مزدلفة:

بلغ تركيز أول أوكسيد الكربون مع بدء وصول الحجيج إلى مزدلفة (الساعة ٨,٣٠ مساءً) ٥٨,٨ جزءاً بالمليون. كما بلغ غاز ثاني أوكسيد الكبريت تركيز قدره ٩١٪ جزءاً بالمليون. أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين فكان غير محسوس وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة حيث كانت نسبته ٢١٪.

جدول رقم ـ ١٤

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في مزدلفة يوم ١٤١٥/١٢/٩هـ

الزمن	CO	SO_2	NO_2	O_2
٨,٣٠ pm	٠,٠٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٣ ± ٠,٩١	٥,٨٣ ± ٥٨,٨

٧ ـ تراكيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس تركيز أول أوكسيد الكربون يوم ١٤١٥/١٢/١٠هـ من فترة غياب الشمس إلى العاشرة مساءً فكان متوسط تركيز أول أوكسيد كربون في جسر الملك عبد العزيز أمام معسكر الجامعة ٦,٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض يوم ١٤١٥/١٢/١١هـ فبلغ متوسط تركيز غاز أول أوكسيد الكربون ٢,٩ جزءاً بالمليون، وازداد يوم ١٤١٥/١٢/١٢هـ، إلى ٨,١٦ جزءاً بالمليون (انظر الجدول رقم ـ ١٥).

جدول رقم ـ ١٥

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في جسر الملك عبدالعزيز بمنى

التاريخ	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١٢/١٠هـ	٠,٤ ± ٦,٤	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	١,٠٦٨ ± ٢,٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠
١٤١٥/١٢/١٢هـ	٣,٢٦ ± ٨,١٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠

كذلك تم قياس تركيز أول أوكسيد الكربون في وادي الجمرات فبلغ متوسط تركيزه في يومي ١٠ و١١ من شهر ذي الحجة، ٦,٨ و ٦,٥ جزءاً بالمليون على التوالي، ثم إزداد إلى ١٠,٥٥ جزءاً بالمليون. أما غازي ثاني أوكسيد الكبريت والنيتروجين فكانت نسبتهما غير محسوسة. وكان الأوكسيجين بنسبة طبيعية ثابتة في جميع أيام التشريق حيث بلغ ٢١٪. (انظر الجدول رقم ـ ١٦)

جدول رقم ـ ١٦

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في وادي الجمرات بمنى ١٤١٥/١٢/٩هـ

التاريخ	CO	SO_2	NO_2	O_2
١٤١٥/١٢/١٠هـ	٦,٨ ± ١,٠٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	٦,٥ ± ٠,٥	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٢هـ	١٠,٥٥ ± ٤,٣٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠

المناقشة والتوصيات

تخدم الأنفاق في تسهيل حركة المشاة والسيارات والقطارات في المدن الكبرى مثل العواصم الأوربية ومدينة القاهرة في الشرق الاوسط (Islam, 1983)، مما يولد انسيابية مرورية فاعلة.

وفي مكة المكرمة رغم رقعتها المحدودة، إلا أنها تتميز بطبيعة جيولوجية مميزة من أودية محاطة بجبال صخرية مختلفة الصلابة من نوع الكوارتيز والبروكسين والديوريت (Saafio, 1980). (Dacwish et al, 1982) فُحفرت الأنفاق خلال الجبال حول الحرم المكي لتسهيل وصول قاصدي البيت العتيق (Hanif, 1987)، حيث حفرت أربعة أنفاق في المرحلة الأولى (Doyuran, 198 SA)، تلاها نفق تحت أرضي حديث وفريد من نوعه بمكة المكرمة (نفق الملك فهد). كما شقت أنفاق ضمن الطريق الدائري الثاني (Doyuran, 1982B)، وكذلك تم إنشاء أنفاق في منى ومزدلفة لاستيعاب الحركه المرورية اثناء مشاعر الحج.

وتشير النتائج في الدراسة الحالية إلى أ، تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد أعلى من نفق أجياد السد للسيارات. كما أن تركيز الملوثات الهوائية في هذين النفقين أعلى من بقية الأنفاق التي تضمنتها الدراسة وهي نفق أجياد السد للمشاة ونفق الملك خالد للسيارات، وأعلى من القياسات في المشاعر المقدسة عرفات ومزدلفة ومنى أثناء فترة مشاعر الحج.

كلاً النفقين (الملك فهد وأجياد السد للسيارات) في منطقة جغرافية متقاربة يفصل بينهما مسافة قدرها ٩٠٠م تقريباً، لكن نفق الملك فهد يتميز بأنه تحت الأرض وتتم تهويته بتقنيتين هما مراوح ضخ هواء جانبية ومرواح شفط سقفية وتحده منطقة جبل الكعبة التي ترتفع أعلى مستوى الأرض عنه وتشكل حاجزاً جغرافياً لتهويته.

أما نفق أجياد السد للسيارات فهو نفق ارضي واطول من نفق الملك فهد ويتم تهويته بمراوح شفط سقفية فقط. كما أن أحد مخارجه يتميز بالاتصال بمنطقة ماوراء محبس الجن ومنى ذات التهويه الجيدة لاتساع المنطقة وخلوها النسبي من تكدس البنيان.

كما تشير النتائج إلى أن تركيز أول أوكسيد الكربون يزيد عن المعدلات الطبيعية في نفق الملك فهد (المعدل المسموح به ٥٠ جزءاً بالمليون). ولقد سجل اختلاف طبوغرافي بين فترتي الظهيرة والمساء للقياس، حيث وجد أن الملوثات تنفذ باتجاه الحفاير في فترة الظهيرة بنسبة أعلى من اتجاه قصر الصفاه، وتراكم غازي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت بصورة مميزة عند باب الملك فهد، وتبعه باب الملك عبد العزيز. كما تراكم أول أوكسيد الكربون في طريق العودة، بحيث سجل تركيز غاز أول أوكسيد الكربون بساحة قصر الصفا ٣٤٪ من مخرج النفق فقط. وكان تركيز غازي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت في أعلى قيمة عند باب الملك فهد، تليه نقطة مخرج طريق العودة.

ويلاحظ من نتائج القياس في هذه الدراسة أن كفاءة طرد الملوثات بطريق الذهاب أفضل من طريق العودة، بحيث كان تركيز الغاز بنقطة المخرج يزيد ١٦٪ عن طلعة الحفاير، بينما في طريق العودة فإن تركيز غاز أول أوكسيد الكربون يزيد ٢٩٤٪ عن ساحة خارج النفق (نقطة قصر الصفا). وبصورة مماثلة وجد تركيز غاز ثاني أوكسيد الكبريت يتراكم في صورة مشابهة لغاز أول أوكسيد الكربون في معظم النقاط إلا أن تركيز أقل من المعدل المسموح به في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق الملك فهد في فترة الظهيرة. كما كان تركيز غاز ثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس بفترة الظهيرة، يشير إلى مصادر انتشار منضبطة. كذلك حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية في جميع نقاط القياس وهذا يشير إلى توفر

الأوكسيجين للتنفس الطبيعي. أما في فترة المساء فلقد تراكمت ملوثات الهواء عند مخارج نفق الملك فهد. وكانت أعلى من ساحات خارج النفق. لقد سجل المعدل الوسطي لجميع نقاط القياس بالفترة المسائية أعلى من فترة الظهيرة باستثناء نقطة طلعة الحفاير. وكان طريق العودة أعلى بتركيز الملوثات الهوائية وأقل كفاءة في تصريفها من طريق الذهاب. فلقد كان تراكم غاز أول أوكسيد الكربون في أعلى مستوى عند باب الملك عبد العزيز ومخرج النفق. ووصل تركيز أول أوكسيد الكربون عند مخرج النفق اربع مرات تقريباً تركيز نفس الغاز عند موقع قصر الصفا.

عموماً فإن تركيز أول أوكسيد الكربون داخل جميع نقاط نفق الملك فهدبطريق الذهاب والعودة أعلى من المستوى المسموح به، مما يشير إلى عدم كفاءة التهوية وطرد الملوثات الهوائية منه. وسجل غاز ثاني أوكسيد الكبريت حالة تراكم مشابهة تقريباً لغاز أول أوكسيد الكربون إلا أ، تركيزه في جميع نقاط القياس أقل من الحد المسموح به. أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين فسجل قراءات أعلى نسبياً من فترة الظهيرة ولكنها في المستويات الدنيا وأقل من الحد المسموح به، وقد تفسر هذه الظاهرة بأنها نتيجة بطء سير المركبات داخل النفق وعدم الاحتراق الكامل لوقود السيارات. كما حافظ الأوكسيجين على مستوى طبيعي في جميع نقاط القياس، وهو مهم للتنفس الطبيعي للإنسان تتفق هذه النتائج مع دراسة موسم رمضان ١٤١٥هـ (السواس، ١٤١٥هـ). من حيث معدل القياسات والتراكم للملوثات الهوائية داخل النفق ورداءة التهوية به. وعموماً فإن نتائج القياس في فترة موسم الحج تشير إلى انخفاض تركيز الغازات عن موسم رمضان بشكل واضح في أغلب نقاط القياس من طريق الذهاب والعودة بنفق الملك فهد في فترة الظهيرة والمساء على السواء. وقد يفسر هذا بقلة عدد المركبات الخاصة المستخدمة في فترة الحج واقتصارها على المواصلات العامة ذات السعة الكبيرة لنقل الحجاج بينما يستخدم المواطنون سياراتهم الخاصة في فترة موسم رمضان. مما يعزز فكرة الحد من دخول السيارات الصغيرة في فترة الذروة إلى نفق

الملك فهد لتجنب انبعاث الملوثات الهوائية وتراكمها بالنفق كما تشير النتائج إلى أن انبعاث الملوثات الهوائية بنفق الملك فهد في فترة الظهيرة متغير من يوم لأخر في فترة الدراسة من ١٤١٥/١١/١٦هـ إلى ١٤١٥/١٢/١٣هـ، مما يشير إلى عدم وجود علاقة تصاعدية في أيام الذروة وارتباط تركيز الملوثات بعدد المركبات تبعاً لنشاط تنقل الحجاج ويؤيد هذا زيادة تركيز الملوثات بشكل واضح عن باقي أيام الدراسة في يوم النفرة ١٤١٥/١٢/١٣هـ لغاز أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد النتروجين.

أما في الفترة المسائية فلم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات وأيام شهر ذي الحجة في الفترة من ١٤١٥/١٢/٣هـ إلى ١٤١٥/١٢/٥هـ إلا أنه بعد ذلك من ١٤١٥/١٢/١٠هـ إلى ١٤١٥/١٢/١٣هـ وجدت علاقة طردية في انبعاث الملوثات مع أيام شهر ذي الحجة ويفسر هذا بنشاط تنقل الحجاج بين الحرم ومنى أيام التشريق، حيث يفضل الحجاج التنقل في الفترة المسائية لتجنب ضربات الشمس في درجات الحرارة العالية من فترة الظهيرة.

وفي نفق أجياد السد للسيارات أظهرت النتائج كفاءة تهوية هذا النفق وعدم وجود تراكم للملوثات الهوائية داخله في فترة الظهيرة، فلقد زاد تركيز غاز أول أوكسيد الكربون بصورة تدريجية من المدخل إلى المخرج في اتجاه سير المركبات واتجاه عمل أجهزة شفط الهواء الخاصة بتهوية النفق.

كما كان تركيز غاز أول أوكسيد الكربون في ساحة محبس الجن أعلى من ساحة مدخل النفق (من اتجاه قصر الصفا)، مما يعزز كفاءة طرد الملوثات من النفق باتجاه محبس الجن، ووادي منى الذي يتصف بتهوية جيدة. وتجدر الاشارة إلى أن تركيز أول أوكسيد الكربون في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق أجياد السد يقل عن المعدل المسموح به من غاز أول أوكسيد الكربون.

وبصورة مماثلة تقريباً وجد غاز ثاني أوكسيد الكبريت بتركيز مقداره ٠,٦ جزءاً بالمليون تقريباً وهذا اقل من المعدل المسموح به ايضاً كما كان غاز ثاني أوكسيد النيتروجين غير محسوس بينما حافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية، مما يساعد على التنفس الطبيعي للإنسان. كذلك لم تظهر النتائج وجود علاقة طردية بين تركيز غازي أول أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت مع أيام القياس في الحج، ولكنه وجد أن تركيز غاز أول أوكسيد في اقصى معدلاته يوم النفرة، وهذا يفسر بزيادة عدد المركبات المتجهة للحرم المكي من منى، ويشير إلى تغير كثافة المركبات التي تعبر نفق أجياد السد من يوم لآخر في موسم الحج. كما أن هذه الظاهرة تماثل ماسجل في نفق الملك فهد بنفس الفترة من القياس في وقت الظهيرة.

وفي فترة المساء وجدت زيادة بتركيز غاز أول أوكسيد الكربون عند نقطة المخرج. كما أن ساحة المخرج أقل تركيزاً لغاز أول أوكسيد الكربون من ساحة المدخل. مما يشير إلى ضعف كفاءة طرد الملوثات بالفترة المسائية، وهذا يتفق مع ما سجل في نفق الملك فهد بنفس فترة القياس، وقد يشير إلى اتجاه معاكس من الرياح لحركة طرد الملوثات من داخل نفقي أجياد السد للسيارات ونفق الملك فهد.

كذلك لم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات الهوائية وايام شهر ذي الحجة في بداية القياس، ولكن مالبث أن زاد تركيز غاز أول أوكسيد الكربون بشكل تدريجي من يوم ١٤١٥/١٢/١٠هـ وبلغ دروته في ١٤١٥/١٢/١٣هـ وهذا يتفق مع زيادة الحركة المرورية للمركبات من منى للحرم وخاصة يوم النفرة حيث تكون كثافة السيارات في معدلها الأعظم.

لم تظهر نتائج القياس في فترة الظهيرة تركيزاً محسوساً للملوثات الهوائية في نفقي أجياد السد (للمشاة) ونفق الملك خالد، حيث الأول لا تسلكه السيارات التي تعتبر المصدر الرئيسي لانطلاق الملوثات. حيث وجد هذا في نفق أجياد السد للسيارات

الذي يقع موازياً له في نفس المنطقة. أما نتائج نفق الملك خالد، فلم تظهر نتيجة القياس تركيزاً محسوساً بسبب اقتصار فترة القياس على يوم ١٤١٥/١٢/٣هـ حيث الحركة المرورية إلى منى محدودة مقصورة على الخدمات، مما يجعل عدد المركبات قليلاً. وزاد تركيز أول أوكسيد الكربون في فترة المساء في كلا النفقين (أجياد السد للمشاة والملك خالد). وكان تركيز أول أوكسيد الكربون في نقطة وسط نفق أجياد السد للمشاة ٠,٨ جزءاً بالمليون وفي الساحة الخارجية اتجاه قصر الصفا ٦ جزءاً بالمليون، مما يُفسر بانتشار جزئي للملوثات الهوائية من الساحة (اتجاه منى) إلى داخل نفق المشاة في الفترة المسائية. ومصدر تلوث الساحة هو الطريق الصاعد والنازل لنفق أجياد السد للسيارات المجاور لها، ولكن هذا التركيز منخفض وفي المعدل المسموح به.

كما كان تركيز أول أوكسيد الكربون في نفق الملك خالد بالفترة المسائية في ساحة دخول النفق (اتجاه العزيزية) أقل من مخرج وساحة مخرج النفق اتجاه منى، ولكن تركيزه في جميع نقاط القياس اقل من المعدل المسموح به، وتشير النتائج إلى كفاءة طرد الملوثات من نفق الملك خالد بالفترة المسائية في اتجاه منى لسير المركبات.

مما سبق يتبين أن تهوية الأنفاق الخاصة بالسيارات والمشاة بالشفط ذات فعالية أكبر من تهويتها بضخ الهواء العادي مع مراوح شفط قليلة الكفاءة، حيث درجة الحرارة للهواء المدفوع إلى النفق أعلى من هواء النفق المتواجد أساساً، وهذا قد يؤدي إلى تراكم الهواء القديم بالمستويات الدنيا ويصعد الهواء المندفع إلى النفق إلى المستويات العليا ومنها إلى خارج النفق دون أن يتم تغير هواء النفق القديم وما يحمله من ملوثات، فيتعرض الإنسان لهذه الملوثات بشكل مميز.

وزاد تركيز غاز أول أوكسيد الكربون بصورة تدريجية في عرفات قرب زمن نفرة الحجيج، وبلغ ذروته في الساعة السابعة مساءً حيث أغلب السيارات محركاتها تعمل ومستعدة للانطلاق اتجاه مزدلفة، مما يجعل انبعاث الملوثات يتم بتركيز عال نتيجة

لهذا وحين بدأت الحركـة بـانطلاق وسـائل النقـل اتجـاه مزدلفـة، انخفـض تركـيز أول أوكسيد الكربون قليلاً. وكان تركيز ثاني أوكسيد الكبريت بصورة مماثلة لتركيز غـاز أول أوكسيد الكربون. ولم يسجل تركيز محسوس لغاز ثاني أوكسيد النيـتروجين. وفي جميع الأحوال فإن تركيز الغازات في عرفات كان في المعدل المسموح به باسـتثناء غـاز أول أوكسيد الكربون الذي زاد عن هذا المعدل نتيجة عمل محركات السـيارات وهـي ساكنة قبل زمن النفرة، مما أثار انطلاق تركيز كبير من هذا الغاز بسبب عدم الاحتراق الكامل لزيت وقود هذه السيارات.

وفي مزدلفة وعند وصول نفرة الحجيج ارتفـع تركـيز أول أوكسـيد الكربـون إلى معدل يزيد عـن المستوى المسـموح بـه بنسـبة قدرهـا ١٨٪ كمـا ارتفـع تركـيز ثـاني أوكسيد الكبريت أيضاً ولكنه حافظ على نسبة أقل من المعـدل المسـموح بـه، ويفسـر هذا ببطء حركة السير وعمل محركـات الحـافلات اثنـاء توقفهـا في مزدلفـة اضافـة إلى كثافة الحركة المرورية ليوم النفرة.

كذلك سجلت النتائج ارتفاع تركيز الملوثات الهوائية في نفـق جسـر الملـك عبـد العزيز ووادي الجمرات يوم العيد ويوم النفرة من منى عن اليوم الأول للتشريق، وهـذا يفسر بزيادة عدد المركبات القادمه والمنطلقة من منى على التوالي.

ولقد كان تأثير أول أوكسيد الكربون يزيد قليـلاً في وادي الجمـرات عـن جسـر الملك عبد العزيز يوم نفرة منى، وهذا أمر متوقع حيث تهوية الوادي أقل من الجبل، مما يسمح بتراكم الملوثات الهوائية. وفي جميع الاحوال فإن تركـيز أول أوكسـيد الكربـون أقل من المعدل المسموح به، مما يفسر بانسياب الحركة المرورية لحـج عـام ١٤١٥هـ ، كما كان تركيز غازي ثاني أوكسيد الكبريت وثاني أوكسيد النيتروجين غير محسـوس وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية للتنفس العادي للإنسان.

وهذه القيم المسجلة بوادي بمنى لغاز ثاني أوكسيد الكربون أقل من النتائج المسجلة عام ١٩٨٢م، حيث وجد تركيز ثاني أوكسيد الكبريت والأمونيا والغبار العالق ثلاث اضعاف الحد المسموح به (Nasralla 1986A). أما في الدراسة الحالية فلقد وجد أن ثاني أوكسيد الكبريت أقل من الحد المسموح به، بينما معدل الغبار أعلى من الحد المسموح به.

كما كان تركيز أول أوكسيد الكربون بهذه الدراسة أقل من الحد المسموح به بوادي منى وأقل مما سجل في عام ١٩٨٢م، حيث سجل تركيز غاز أول أوكسيد الكربون في أوقات الذروة أعلى من ٥٠ جزءاً بالمليون (Nasralla 1986 B). وهذه تتفق مع ما سجل في حج ١٣٩٩هـ حيث وجد تركيز أول أوكسيد الكربون أقل من المعدل الطبيعي المسموح به (Sabbak et al, 1980). مما يشير إلى أن سهولة انسياب الحركة المرورية أدى إلى خفض تركيز الملوثات الهوائية رغم زيادة أعداد الحجيج في الحاضر عن الماضي.

وهكذا يبين لنا أن تركيز الملوثات أعلى في نفق الملك فهد وتزداد ببطء الحركة المرورية بالمشاعر ونتيجة عمل محركات السيارات أثناء توقفها.

وكان معدل الأتربة العالقة يزيد عن المستوى المسموح به في جميع نقاط القياس بمكة والمشاعر المقدسة وبشكل خاص في نقطة مجزرة وادي محسر وأمام منطقة مسجد الجن، وتظهر هذه الدراسة زيادة معدل الأتربة العالقة في وادي منى عن ما سجل في حج١٩٨٢م، حيث كان ثلاثة أضعاف الحد المسموح به (Naslalla & Younu, 1982) بينما كان في أقصى تركيز له بوادي محسر في هذه الدراسة حيث بلغ عشرة أضعاف الحد المسموح به تقريباً. مما يُفسر بزيادة الحركة المرورية في هاتين النقطتين وبقية نقاط قياس تركيز الأتربة العالقة وهذه تؤدي إلى الاصابة بالتهابات الجهاز التنفسي للإنسان.

أهم الاستنتاجات:

١ - توقف التهوية يؤدي إلى تراكم الغازات وخاصة أول أوكسيد الكربون بداخل الأنفاق، حيث وجد أن أعلى تركيز داخل النفق. أما النتائج التي سجلت في شهر رمضان فسجل أعلى تركيز في نقطة القياس عند المخارج.

٢ - معدل الملوثات بنفق الملك فهد (السوق الصغير) أعلى من أي نفق آخر ولا يعزى هذا إلى الكثافة المرورية حيث تم مقارنته بنفق أجياد السد، حيث كثافته المرورية مماثلة لهما تقريباً. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالموقع الجغرافي أي النشأة تحت سطح الأرض الذي يجعله أقل تهوية من الأنفاق العلوية.

٣ - زيادة معدل غاز ثاني أوكسيد الكبريت في موسم الحج عن شهر رمضان يشير إلى أن معظم المركبات تستخدم وقود الديزل الذي يحتوي على نسبة من الكبريت.

التوصيات:

١ - إنشاء شبكة رصد داخل الأنفاق بكواشف ثابتة مجهزة بوسائل إنذار لتحديد مستوى الغازات بالأنفاق، وتحليل النتائج علمياً وتحديد زمن ومكان تراكم الملوثات ووضع الحلول الهندسية لها.

٢ - المضي قدماً في دراسة أنسب أنواع الحوافز والتي يمكن تطبيقها في موسم الحج والعمرة لتقليل عوادم السيارات، بما فيها الضوابط الفنية وتسهيلات التنقل ووسائل النقل البديلة الأقل تلويثاً للبيئة.

٣ - المضي قدماً في تنفيذ خطة إنتاج بنزين خال من الرصاص طبقاً للأمر السامي الكريم رقم س/٢٨٨٧٨ وتاريخ ١٤٠٩/٢/٢٨هـ القاضي بالمضي قدماً في تنفيذ خطة إنتاج بنزين خال من الرصاص خلال خمس سنوات اعتباراً من تاريخ صدور الأمر السامي.

٤ ـ دراسة وجود وسائل انتقال غير المركبات بحيث يأخذ في الاعتبار أن موسم الحج في الأعوام القادمة سوف يأتي في أجواء معتدلة وباردة مما يزيد من عوامل تراكم الملوثات وتأثيراتها على الحالة الصحية.

٥ ـ دراسة امكانية استخدام وقود الغازولين المشبع بالأوكسيجين رباعي ميثيل الاثير للتغلب على انبعاث غاز أول أوكسيد الكربون (Gharain, 1992) .

٦ ـ استخدام مرشحات لهواء الأنفاق لتنقية الهواء من الملوثات المتراكمه من السيارات وذات الخواص والكفاءة الفعالة (Favag et al, 1986).

٧ ـ استخدام هواء مبرد في تهوية نفق الملك فهد بدلاً من الهواء العادي كي يسمح بخروج الوقود الملوث من النفق بسهولة ويسر كما أظهرت الأبحاث كفاءة التهوية بهذه الطريقة (Shobokshy et al, 1980).

٨ ـ دراسة ملاءمة كفاءة مرواح تهوية نفق الملك فهد طبقاً للمواصفات المطلوبة وزيادة كفاءتها بما يسمح بمنع تراكمها.

REFERENCES

Bradstreet, J. Mahoney, J.; Sacco, A.; Al-Gain, A.; Tasan, A. and Nowailaty, M. 1978. Preliminary air pollution assessments of the air pollution potential in Saudi Arabia.
Presented at 71st Annual meeting of the air pollution control association, Houston, TX, June 25-30, 1978, 1 - 16.

Darwish , Mohamoud Ali; Hanif, Muhammad
Title: Characteriistics of rocks and their excavation in Makkah tunnel.
Publication: Proceeding of rock engineering and excavation in an urban Evironment, Hong Kong , 27th Feb 1986 , Institute of mining and metallurgy, London , UK 1986, 145-154.

Dhowalia, K.H. Al- and Koushki, P.A. 1987.
Exposure to Carbon monoxide of vehicle occupants in the center of Riyadh, Saudi Arabia.
Tech. report Research center, College of Engineering , King Saud university, Riyadh - Saudi Arabia, 1-136.

Doyuran, V. 1982A.
Title: Makkah inner ring road project: Engineering geologic site investigation
Publication: Proceeding of 4th Congress association of Engineering Geology , New Delhi , India , 4, 127-138.

Doyuran , V; Urgurlu, A. and Haurut, A..1982B
Title: The Makkah inner ring project: Geotechnical investigation of tunnel MIT-2
Publication: Buulletin of the Geological society of Turkey (Tuerkiye Jeoloji Kurumu Buelteni), 25 (1), 73-80.

ERT International, 1977
Environmental standards for Saudi Arabia : draft for discussion.
ERT INt. , Inc, Massachusetts, USA , 1-27.

Farag, A. O.; Abdulaleem, F.A.; Nikheli, A.H. 1986.
Air pollution control by active foam.
Tech. report, College of Engineering - King Saud University, Riyadh - Saudi Arabia., 1-52.

Gharani, A.A. 1992.
How new environment rules can hit oil demand: The case of oxygenated gasoline.
Organization of the Petroleum Exporting Countries, 9, 14-16.

Hanif, M. 1987
Title: Scale model of underground opening in jointed rocks
Publication: Scientific publishing centre , King Abdul Aziz university - Jeddah , SA , 1-39.

Koushki, P.A.; Dhowalia, K.H. and Rowe, D.R. 1987.
Measurment of urban traffic Carbon monoxide and calibeartion of predictive models for Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.
Research center, College of Engineering , King Saud university , Riyadh , Saudi Arabia. 1- 182.

Luke, W.T. ; Kon, G. L.; Schillawski, R.D. and Zimmarman, P.R. 1992.
Trace gas measurements in the Kuwait oil fire smoke plane,
J. Geophysical Research , 97, 499-14.

Manavalan, V. 1983.
Title: Lighting and Ventilation
Publication: Tunnels and Tunneling , 15, (8), 1-81

Mutaz, I.S. Al-, 1988
Major sources of air pollution in Riyadh, Saudi Arabia
Proceeding of eight first annual meeting of the air pollution control association , USA, 1988 , 1 - 8.

Nasralla, M. M. 1983
Air pollution in the semitropical Saudi urban area.
Environmetal Int. 9, 255-264.

Nasralla, M. M. 1986.
Carbon monoxide and photochemical oxidants in Mina valley during pilgrimage.
Arab Gulf J. Scientific Research, 4, 193-201.

Nasralla, M.M. and Younes, A. 1986
Air quality in Muna valley some finding during pilgrimage 1402H (1982).
Arab Gulf J. of Scientific Research, 4, 551-560.

Rowe, D.R.; Dhowalia, K.H. and Mansour, M.E. 1988
Indoor-outdoor air quality in Riyadh..
Research report - Research center, College of Egineering , King Saud university, 1-229.

Sabbak, O.A.; Shahawi, M. A. El- and Abdul Salam 1980
Air quality within Mina valley during the Hajj season of 1399H (1979)
Bulltetin Faculty of science, King Abdul Aziz University, 4, 159 - 170.

Sabbak, O.A. 1990
Distribution of Carbon monoxide in Jeddah atmosphere.
Environmental International, 16, 267 - 272.

Sabbak, O.A., 1993
Distribution of Sulfur dioxide in the atmospher of Jeddah - Saudi Arabia
J. Air and waste management association, 43, 208 - 212.

Senany, A. 1981
Effect of the clean air act on Santa Clara county California
California State university, Freno, USA 1-164,

Sheikh, K.H. 1992
Oil well fires in Kuwait in 1991: Their impact on environment and people, especially children in Kuwait and the Gulf region.
Tech. report of Islamic Educational Scientific and Cultural Organization, Rabat, Morocco, 1-52,

Shobokshy, M.S, El-. Nasser, A. and Medany, H.
Title: Experimental investigation on the effect of internal air cooling on the surface heat transfer of turbine blade
Publication: Nattional Heat and Mass Transf. Confer., Hyderabad, India,1980,9-16